Kondensatoren

Kondensatoren haben in der Elektrotechnik eine große Bedeutung als Ladungs- und Energiespeicher. Die Bauweisen von Kondensatoren unterscheiden sich je nach Anwendungsbereich. Einige dieser Aspekte sollen in den folgenden Aufgaben untersucht werden.

Aufgaben

1 Ein luftgefüllter Kondensator ($\varepsilon_r = 1$) besteht aus zwei kreisförmigen Platten mit dem Radius $r = 5$ cm, die sich vertikal in einem Abstand von $d_0 = 5$ mm gegenüberstehen. Der Kondensator wird mit der Spannung $U_0 = 1$ kV aufgeladen.

1.1 Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators, die Ladung des Kondensators, die elektrische Feldstärke zwischen den Platten und die im elektrischen Feld des Kondensators gespeicherte Energie.

(8 BE)

1.2 Der Kondensator wird von der Spannungsquelle getrennt und dann der Abstand der Kondensatorplatten um Δd verringert.
Begründen Sie ohne Verwendung einer Formel, dass sich die im elektrischen Feld des Kondensators gespeicherte Energie vermindert, und zeigen Sie, dass für die Energiedifferenz gilt:

$$\Delta E_{\mathrm{el}} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{\varepsilon_0 \cdot A} \cdot \Delta d$$

(6 BE)

1.3 Der Kondensator ist wieder mit der Spannungsquelle verbunden und die Spannung auf $U_0 = 1$ kV eingestellt. Der Abstand der Kondensatorplatten beträgt nun $d_1 = 5$ cm. An einem masselosen, isolierten Faden der Länge $l = 80$ cm hängt genau in der Mitte zwischen den beiden Kondensatorplatten eine Metallkugel der Masse $m = 0{,}5$ g (Material 1).

1.3.1 Die Kugel in Material 1 wird mit der positiven Ladungsmenge $Q_{\mathrm{Kugel}} = 4$ nC geladen und soll vereinfachend als punktförmig angenommen werden. Ermitteln Sie den horizontalen Abstand der Kugel zur Ruhelage unter Verwendung einer aussagekräftigen Skizze.

(6 BE)

1.3.2 In der Realität hat die Kugel eine Ausdehnung. Erläutern Sie, wie sich die Ladung auf der Oberfläche einer ausgedehnten Metallkugel verteilt, wenn sich diese zwischen den Kondensatorplatten befindet.

(2 BE)

2 Wir betrachten nun einen Drehkondensator, der aus zwei halbkreisförmigen Metallplatten mit dem Radius $r = 5\,\text{cm}$ besteht, die sich im Abstand $d = 5\,\text{mm}$ parallel gegenüberstehen. Zwischen den beiden Platten befindet sich eine ebenfalls halbkreisförmige, bewegliche Kunststoffscheibe mit der Dielektrizitätskonstanten ε_r, die den Zwischenraum zwischen den Platten vollständig ausfüllt. (Material 2a)
Dreht man die Kunststoffplatte um den Winkel $0° \leq \alpha \leq 180°$ aus dem Kondensator (Material 2b), so lässt sich der Drehkondensator mithilfe einer Parallelschaltung aus einem mit luftgefüllten Kondensator und einem mit Dielektrikum gefüllten Kondensator beschreiben.
Das elektrische Feld im Inneren des Drehkondensators wird im Folgenden als homogen angenommen und Randeffekte werden vernachlässigt.

2.1 Begründen Sie, dass sich durch das Einbringen eines Dielektrikums in einen Kondensator die Kapazität erhöht.

(3 BE)

2.2 Leiten Sie für die Gesamtkapazität des Drehkondensators die folgende Formel her:

$$C_{\text{ges}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \pi \cdot r^2}{360° \cdot d} \cdot \left(\alpha + \left(180° - \alpha\right) \cdot \varepsilon_r\right).$$

(5 BE)

2.3 Nennen Sie den Wert für α, bei dem die Kapazität minimal ist, und berechnen Sie diese minimale Kapazität.

(3 BE)

2.4 In einem Experiment werden die Kapazitäten in Abhängigkeit vom Winkel α gemessen (Material 3).
Zeichnen Sie unter Verwendung aller Messwerte ein α-C-Diagramm und ermitteln Sie aus diesem Diagramm den experimentellen Wert für die minimale Kapazität des Drehkondensators.

(5 BE)

2.5 Zeigen Sie mithilfe der in Aufgabe 2.2 hergeleiteten Formel, dass zwischen C_{ges} und α ein linearer Zusammenhang besteht.

(5 BE)

2.6 Bestimmen Sie aus dem in Aufgabe 2.4 erstellten Diagramm die Steigung der Geraden und mit diesem Wert den Wert der Dielektrizitätskonstante des verwendeten Kunststoffs.

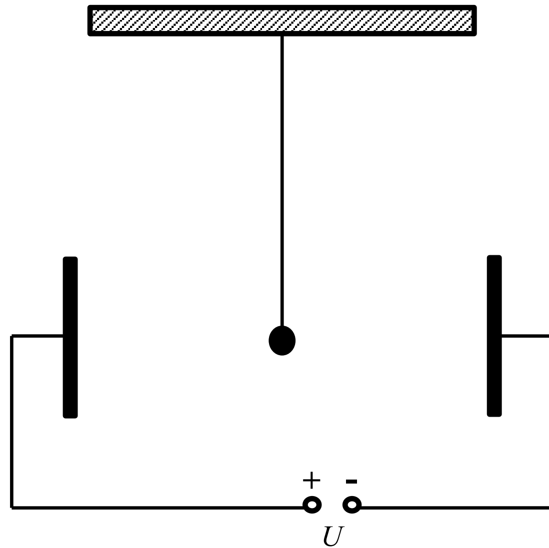
(5 BE)

2.7 Die Durchschlagfestigkeit eines Materials ist die maximale Feldstärke im Inneren eines Materials, bevor es zu einem Spannungsdurchschlag, z.B. in Form eines Lichtbogens, kommt. Plexiglas hat eine um den Faktor 10 größere Durchschlagfestigkeit als Luft. Beurteilen Sie, wie sich die Durchschlagfestigkeit des zunächst vollständig mit Plexiglas gefüllten Kondensators verändert, wenn das Dielektrikum langsam aus dem Kondensator herausgedreht wird.

(2 BE)

Material 1

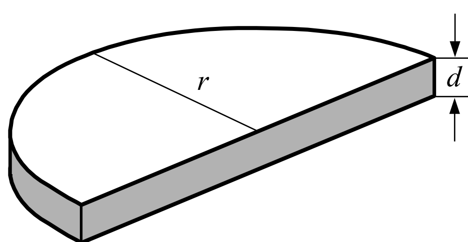
Metallkugel im Plattenkondensator (Seitenansicht, nicht maßstabsgerecht)



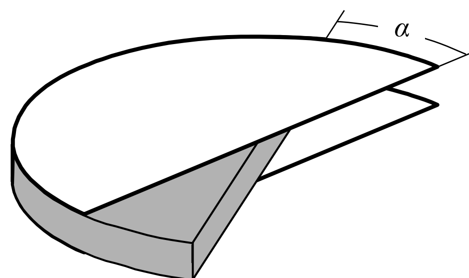
Material 2

Drehkondensator

Material 2a



Material 2b



Material 3

Kapazität in Abhängigkeit vom Winkel beim Drehkondensator

α [°]	0	30	60	90	120	150
C [pF]	34,8	30,1	25,5	20,9	16,2	11,6